



УДК 528.11:551.5

ББК 26.1

КОМПЬЮТЕРНОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАДИЕНТОВ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕГИОНАЛЬНОГО КЛИМАТА ЮГО-ВОСТОКА ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

А. С. Рулев

В статье показаны возможности компьютерного изолинейного картографирования для изучения закономерностей пространственного распределения показателей регионального климата. Для экологической оценки территории был использован показатель биологической эффективности климата Н.Н. Иванова (БЭК).

Ключевые слова: аридность климата, градиент, биологическая эффективность климата, изолинейное картографирование, лог-функция.

Введение

В структуре эколого-ресурсного потенциала ландшафтов климату, как известно, принадлежит одно из главных мест. Множество климатических факторов влияют на качество среды обитания, для их учета разработан широкий набор различного рода показателей, из которых, как правило, на практике выбирается несколько ведущих, используемых в качестве критериев для оценочных расчетов.

На первой стадии ландшафтно-экологической оценки территории (верхний таксономический уровень), когда важно выявить наиболее существенные региональные различия в качестве среды обитания, роль важнейших кри-

териев играют факторы тепло- и влагообеспеченности. Они не только имеют универсальное и непосредственное экологическое значение, но и определяют территориальную дифференциацию многих других экологических показателей, в том числе лесомелиоративных.

Для изучения и картографирования процессов опустынивания и деградации земель, которые определяются природно-антропогенными факторами, важно описать и картографировать фитоэкологические условия и, в особенности, степень засушливости и комфортности климата в определенный временной период.

Объекты и методы исследований

Недостатком различных формул расчета климатической аридности является их теоретическая направленность, непригодная для более детального картографирования аридно-

сти. Для регионального картографирования лучше использовать эмпирические формулы, которые подходят к местным климатическим условиям ландшафтов. Поэтому применялась специально разработанная для засушливых областей юга Западной Сибири модифицированная формула В.С. Мезенцева [10], в которой индекс аридности (I_A) рассчитывается по годовой сумме атмосферных осадков и по сумме среднемесячных температур за теплый период года – с апреля по октябрь.

Если годовая сумма среднемесячных осадков $S_{I-XII}P$ определяется, то сумма среднемесячных температур теплого периода $S_{N-X}t$ отражает скрытую теплоту испарения и выражается более сложным эмпирическим уравнением. В результате в окончательном виде формула индекса аридности имеет вид:

$$I_A = \frac{\sum_{I-XII} P}{5,12 \sum_{N-X} t + 306}. \quad (1)$$

Практическим недостатком формулы является обратная зависимость между ростом аридности по существу и увеличением вычисленного показателя аридности по формуле. Поэтому вычислялся нормализованный индекс аридности (NIA) по В.Б. Виноградову [5]:

$$NIA = 1 - I_A. \quad (2)$$

По нормализованному индексу (NIA) были составлены мелкомасштабные карты климатической аридности и скорости ее изменения. Временные периоды для пространственного анализа индекса аридности были выбраны согласно внутривековой цикличности увлажнения.

Результаты исследования и их обсуждение

С 1899 по 1915 г. XX в. выделялась эпоха циркуляции [13], которая классифицировалась как меридиональная северная. Эта эпоха характеризовалась отрицательным отклонением температуры воздуха и положительным отклонением годовых сумм осадков от средней многолетней величины (при осреднении по эпохе). К концу периода количество выпадающих осадков на территории Волго-

градской области заметно увеличилось и превышало климатическую норму на 120–130 мм (34–47 %).

Примерно в начале 20-х годов характер макроциркуляционных процессов изменился, наступила зональная эпоха, продолжавшаяся до 50-х годов. В климатическом отношении она характеризовалась глобальным потеплением, уменьшением количества осадков и увеличением повторяемости засух в зерновых районах страны. За прошедшие 30 лет годовые суммы в пределах Волгоградской области постепенно уменьшились до климатической нормы и ниже ее. Начиная с 1952–1953 гг. увлажненность на крайнем юго-востоке Европейской территории России (далее – ЕТС) устойчиво возрастала. В 70-е годы количество осадков превышало норму в среднем на 50–60 мм, а в отдельные годы – на 170–200 мм.

В настоящее время А.Н. Сажин [11, 12] предполагает, что развитие атмосферных процессов и связанных с ними режимов температуры и осадков на ближайшую перспективу в 30–40 лет будет происходить по аналогии с зональной эпохой 20–50-х годов. Это будет соответствовать общему снижению количества осадков, их значительной межгодовой изменчивости, увеличению повторяемости засух, активизации ветро-эрозионных процессов, других неблагоприятных погодных явлений, то есть резкому ухудшению природно-климатических условий для земледелия. Возможно, крайне засушливые летние периоды 1998, 1999, 2001, 2010 гг. на Европейской территории России свидетельствуют об этом.

На основе метеоданных с помощью ППП «Surfer» были проведены изолинии индекса аридности через каждые 0,01. По составленным картам изолиний определены лимиты индекса (максимумы и минимумы) за периоды: 1891–1915, 1891–1940, 1891–1964, 1965–1997 годы.

Максимум NIA в 1891–1915 гг. составил 0,71, а минимум – 0,56, в 1891–1940 гг. соответственно – 0,65 и 0,52, в 1891–1964 гг. – 0,68 и 0,49. Сравнительный анализ проведен по статистическим показателям.

Анализ изолиний индексов аридности показал, что на картах во все временные периоды наблюдается в определенных районах сгущения изолиний. Особенно они выделяют-

ся на карте за 100-летний период. Известно, чем меньше расстояние между изолиниями, тем интенсивнее изменяется величина по территории, то есть больше градиент. В нашем случае градиент NIA численно равен падению NIA на единицу расстояния по нормали к изолинейной поверхности, направлен по этой нормали в сторону падения.

Минимальная величина градиента скорости изменения NIA составила $< 0,01$, а максимальная – $0,02$. На территории области выделяются следующие зоны изменения скорости индекса аридности с запада на восток: 1) $< 0,01$; 2) $0,01–0,02$; 3) $0,02–0,02$; 4) $0,02–0,01$; 5) $0,01$.

Зона максимальной скорости изменения NIA приурочена к сухостепным ландшафтам Приволжской возвышенности, а также к полупустынным ландшафтам Ергеней и Сарпинской низменности. Размещение зоны максимальной скорости изменения NIA обусловлено пространственными закономерностями формирования климатических полей осадков. Эти закономерности обусловлены тремя важнейшими факторами: влагосодержанием воздуха в нижней тропосфере, интенсивностью циклонической деятельности и орографией.

Представляет особый интерес анализ изменения NIA не только в пространстве, но и во времени. С этой целью проведен анализ временной динамики NIA методом наложения карт индекса аридности за 100-летний период. Проведение нулевых изолиний позволило выделить зоны с положительным приращением NIA и с отрицательным приращением NIA .

Величина положительного приращения колебалась от $0,01$ до $0,06$, отрицательного – от $0,01$ до $0,03$. Таким образом, анализ полученной карты изолиний приращения индекса аридности показал, что аридность климата в ландшафтах Заволжья за 100-летний период возросла на $0,01–0,03$, а на остальной территории области уменьшилась на $0,01–0,06$.

С целью изучения изменения аридности в 1891–2000 гг. методом наложения был проведен анализ карт NIA 1891–1915 и 1965–2000 годов. Совмещение карт позволило подсчитать для каждого пиксела приращение индекса за этот период. Это позволило составить изолинейную карту скорости изменения индекса аридности за сто лет. Величина приращения NIA за этот период варьировала от $+0,09$ до $-0,04$. Аридность

климата ландшафтов уменьшилась, особенно в северо-западных районах области.

Кроме индекса аридности для оценки климатических условий деградированных ландшафтов региона использовался другой интегральный показатель биологической эффективности климата (БЭК) по Н.Н. Иванову [6].

БЭК представляет собой произведение суммы активных температур $> 10^{\circ}\text{C}$ в сотнях градусов ($0,01 \sum T_{>10}$) и предложенного этим же автором коэффициента увлажнения (КУ):

$$\text{БЭК} = 0,01 \sum T_{>10}^{\text{КУ}} \quad (3)$$

КУ находится как отношение годового количества осадков (P , мм) к годовой испаряемости (E , мм), которую получают суммированием значений испаряемости за каждый месяц года ($E_{\text{мес}}$), рассчитываемых по формуле

$$E_{\text{мес}} = 0,0018(25 + t)^2(100 - a), \quad (4)$$

где t – среднемесячная температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$;

a – среднемесячная относительная влажность воздуха, %.

БЭК синтезирует важнейшие климатические параметры: атмосферные осадки, температуру и относительную влажность воздуха, рассматриваемые в их годовом ходе, а также годовую теплообеспеченность – и хорошо выражает общий экологический фон.

По оценкам, зоне экологического оптимума [7] соответствует БЭК 22. Территория с соответствующим значением БЭК представляет собой некую экологическую ось или ядро, от которого естественные условия обитания ухудшаются, с одной стороны, к северу (в силу общего понижения запасов тепла), с другой стороны, к югу (вследствие снижения естественной влагообеспеченности территории и одновременного усиления температурного дискомфорта из-за избытка тепла). В этом отчетливо проявляется широтно-зональная закономерность изменчивости климата.

Исходным материалом для расчета БЭК и последующего построения карты послужили данные метеостанций за 100-летний период.

Для непосредственного выполнения самой процедуры картографирования был использован пакет «Surfer», представляющий пользователю достаточно большие возможности для

построения как изолинейных, так и трехмерных поверхностей распределения. Карты (см. рис. 1, 2) построены с помощью метода «крайгинг» [1]. Показано пространственное распределение градиента БЭК. Хорошо видно, что зона с наилучшими биоклиматическими показателями расположена в ландшафтах, находящихся на северо-западе региона. С продвижением на юго-восток происходит понижение БЭК, связанное с уменьшением общего количества осадков и аридизацией климата. Выделяется зона с наибольшими отрицательными значениями, ограниченная нулевыми изолиниями субмеридионально с востока и запада.

Аналогичная зона выделялась ранее на картах аридности климата. С целью анализа конфигурации этих зон проведены 3 профиля на карте осадков (см. рис. 3). Снятые данные были обработаны с помощью пакета MathCAD8.0. Связь снижения количества осадков с запада области на восток, то есть субмеридионально, имеет форму логистической функции:

$$y(x) = \frac{H_{\Delta}}{1 + 10^{a+bx}} + c. \quad (5)$$

Аналитическое выражение имеет следующий вид (для профиля I):

$$y(x) = \frac{120}{1 + 10^{a+bx}} + 280, \quad (6)$$

где y – количество осадков, мм;

x – расстояние, км;

$a = -3,225$;

$b = 0,015$.

Аналитические выражения производных приведены в работе [1].

Аналитические выражения и производные для профилей II, III имеют аналогичный характер и отличаются значениями коэффициентов a и b .

На рисунке 3 приведены лог-функция и ее производные для профилей. На лог-функции выделяются критические точки P_1 , P_2 , P_3 . В точке P_1 (профиль I) первый критический период – это период максимального ускорения ($\max d^3y/dx^3$) снижения количества осадков с 400 мм до 370 мм. Точка P_2 – точка перегиба лог-функции, характеризующая момент перехода скорости снижения количества осадков, то есть максимальной скорости ($\max d^2y/dx^2$) и нулевого ускорения ($\min d^2y/dx^2$). В этот период происходит снижение количества осадков в 30–40 мм на расстоянии 40–50 км. Наконец, в точке P_3 наступает период максимального ускорения.

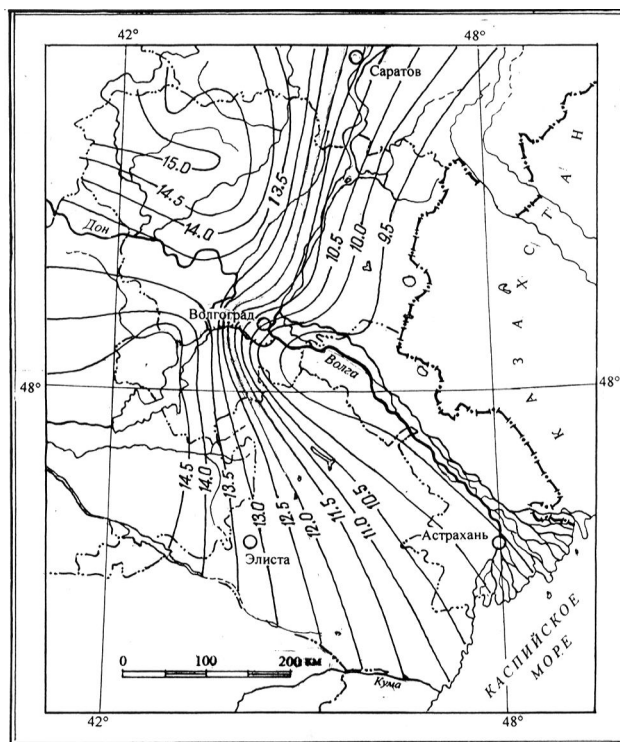


Рис. 1. Карта биологической эффективности климата (БЭК)

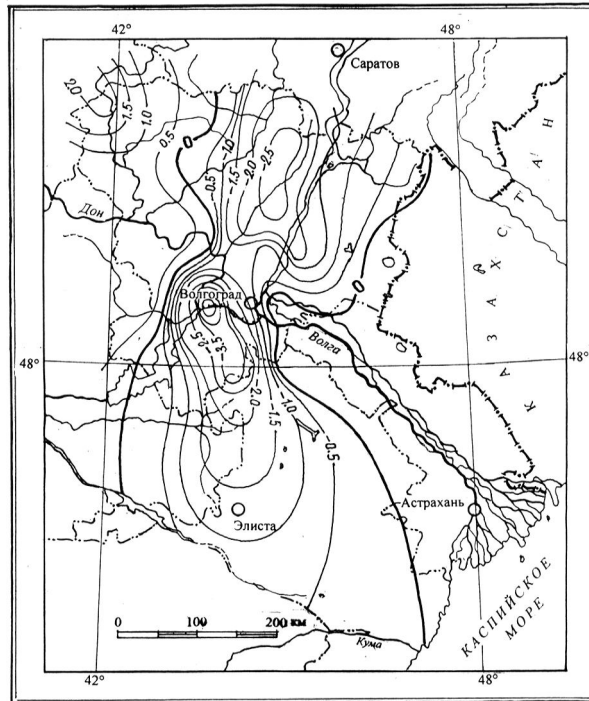


Рис. 2. Карта изолиний градиента БЭК

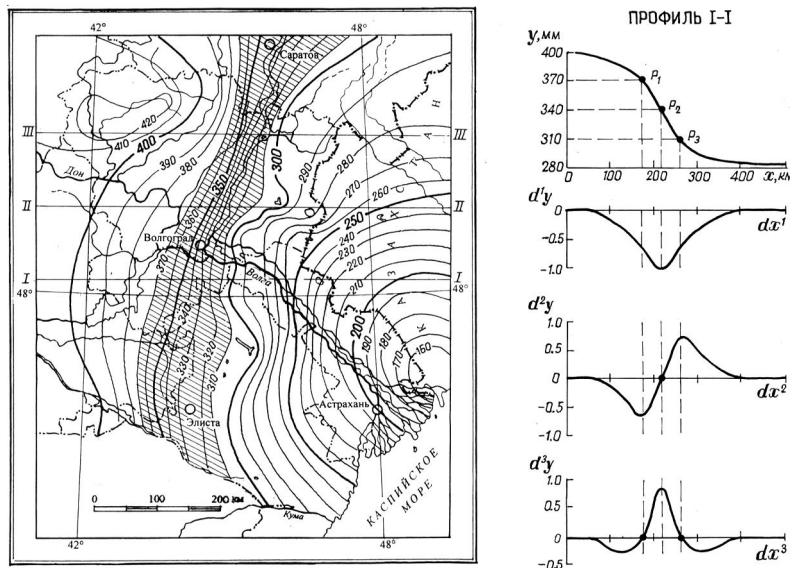


Рис. 3. Карта распределения осадков

Следовательно, в период P_1-P_2 (370–340 мм) скорость снижения количества осадков возрастает до минимума, а ускорение падает до нуля, тогда как на участке P_2-P_3 (340–310 мм) скорость начинает уменьшаться, а ускорение приобретает отрицательный знак и падает до минимума.

Таким образом, зона максимального ускорения и скорости снижения осадков между изолиниями составляет 370–310 мм.

Заклучение

Логистический анализ изолиний (изогиет) осадков подтвердил, что, благодаря резкому нарастанию аридности в юго-восточном направлении, здесь расположен суперзональный экотон [8], который относится к категории внутривосточных долготно-секторных климатэкотонов. Рассматриваемый макрорегиональный климатический экотон проходит по

Волго-Иловлинскому междуречью и Ергенинской возвышенности. А.К. Воейков первый указал на отличие климатических условий к востоку от Ергеней и к западу от них. Он писал: «Едва Альпы где-либо так резко отделяют две различные климатические области, как эта незначительная возвышенность» (цит. по: [9, с. 437]). Л.С. Берг, как известно, проводил границу между степью и полупустыней по Ергеням [3]. На карте М.И. Будыко изолиния радиационного индекса сухости, равная двум, проходит по Ергеням. По М.И. Будыко, к западу от Ергеней лежит степная зона, а к востоку – полупустыня [4]. Многие исследователи указывали на то, что Ергени являются весьма резкой климатической границей.

Таким образом, в этом экотоне, по нашим расчетам, расположены ландшафты, где значения БЭК варьируют от 12 до 10. В соответствии с классификацией ландшафтов, по А.Г. Исаченко [8], они относятся к малоблагоприятным для условий жизни населения.

Кроме климатического контраста здесь имеет место мезорельефный рубеж между Приволжской и Ергенинской возвышенностями и Прикаспийской низменностью. Все это в совокупности подчеркивает пограничное, или маргинальное, положение ландшафтов-экотон, где равновесие растительных сообществ особенно неустойчиво [2], так что даже небольшое изменение ландшафтно-экологических условий сильно воздействует на экотон и сдвигает равновесие в пользу одного или другого растительного сообщества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анопин, В. Н. Картографирование деградированных ландшафтов Нижнего Поволжья

/ В. Н. Анопин, А. С. Рулев : Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т. – Волгоград : ВолГАСУ, 2007. – С. 147.

2. Арманд, А. Д. Ландшафтные триггеры / А. Д. Арманд, О. В. Кайданова // Изв. РАН. Сер. «География». – 1999. – № 3. – С. 22–28.

3. Берг, Л. С. Природа СССР / Л. С. Берг. – М. : Географгиз, 1955. – С. 116–142.

4. Будыко, М. И. Глобальная экология / М. И. Будыко. – М. : Мысль, 1977. – С. 180–182.

5. Виноградов, Б. В. Картографирование климатической аридности территории Калмыкии / Б. В. Виноградов, А. Д. Сорокин, П. Б. Федотов // Биота и природная среда Калмыкии. – М., 1995. – С. 253–258.

6. Иванов, Н. Н. Показатель биологической эффективности климата / Н. Н. Иванов // Изв. ВГО. – 1962. – Т. 94, вып. 1. – С. 65–70.

7. Исаченко, А. Г. Экологический потенциал ландшафта / А. Г. Исаченко // Изв. ВГО. – 1991. – Т. 123, вып. 4. – С. 305–316.

8. Коломыц, Э. Г. Зонально-поясный экотон в системе больших равнинных водосборов (на примере Волжского бассейна) / Э. Г. Коломыц // Экотон в биосфере. – М. : Изд-во Россельхозакадемии, 1997. – С. 34–40.

9. Малик, С. А. Почему Ергени являются климатической границей / С. А. Малик // Изв. ВГО. – 1965. – Вып. 5. – С. 436–438.

10. Мезенцев, В. С. Увлажненность Западно-Сибирской равнины / В. С. Мезенцев, И. В. Карнацевич. – Л. : Гидрометеиздат, 1969. – 168 с.

11. Сажин, А. Н. Глобальные изменения климата и окружающая среда: Тренды и прогнозы, реакция и поведение природно-антропогенных систем в меняющихся условиях / А. Н. Сажин // Антропогенная деградация ландшафтов и экологическая безопасность: сб. лекций междунар. учеб. курсов / ЮНЕП ; ЦМП ; ВНИАЛМИ. – М. ; Волгоград, 1999. – С. 92–101.

12. Сажин, А. Н. Погода и климат Волгоградской области / А. Н. Сажин, К. Н. Кулик, Ю. И. Васильев. – Волгоград : ВНИАЛМИ, 2010. – 306 с.

13. Сажин, А. Н. Современные изменения климата и зональные агроклиматические проблемы (на примере Нижнего Поволжья) / А. Н. Сажин // Проблемы региональной экологии. – 2001. – № 1. – С. 14–20.

COMPUTER MAPPING OF THE SPATIAL DISTRIBUTION OF GRADIENT INDICATORS OF REGIONAL CLIMATE IN SOUTH-EAST OF EUROPE PART RUSSIA

A.S. Rulev

The possibilities of computer-isoline mapping to study the regularities spatial distribution of the indicators of regional climate. For the environmental assessment of the territory was used indicator of the biological effectiveness of climate N.N. Ivanov (BEC).

Key words: *arid climate, gradient, Biological effectiveness of climate, isoline mapping, the log function.*